

鉄道 RC ラーメン高架橋柱の最大応答部材角測定装置の開発について

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○仁平 達也 正会員 曾我部正道 正会員 谷村 幸裕
(株)計測リサーチコンサルタント 正会員 宮本 則幸 正会員 濱田 弘志

1. はじめに

鉄道 RC ラーメン高架橋の損傷は、通常被災後の随時検査において目視により確認するが、近年その柱の多くは鋼板巻き補強が施されている。そのため、目視による損傷の把握が困難な RC 柱の本数が増加しているのが現状である。一方、柱端部に生じる最大応答部材角と損傷レベルの関係は概ね把握されている¹⁾ため、最大応答部材角を効率的に測定することが出来れば、地震時の柱の損傷レベル評価を早期に評価することが可能となり、被災後の復旧作業の効率化や、「ダウンタイム」の減少が期待出来る。

本研究では、上記の背景を踏まえ、安価で無電源方式の機械式センサー(ピークセンサー²⁾)を用いて、直接的に高架橋柱の最大応答部材角を測定する装置を開発し、模擬地震波等を与えた実験により、その機能および性能の確認を行った。

2. 最大応答部材角測定装置

図1に測定装置の概要を示す。図2にピークセンサーの概要を、表1に仕様を示す。ピークセンサーは正側と負側の両方の最大変位量を検知し、記憶することが可能なセンサーである。ここで、センサーの検出範囲は最大±10 mmであるため、図1に示すように、幾何学的な相似の関係を利用して部材角を測定できる治具を用いた²⁾。ただし、鉄道 RC ラーメン高架橋の柱端部では、地震により全方向に振動することが予測される。そこで、写真1に示すように、任意方向の変位量を X 方向(線路方向)と Y 方向(線路直角方向)成分に分解し、1 装置で 2 方向の最大応答部材角を測定する機構を新たに開発した。

本装置を実構造物に設置する場合、センサー部と上層梁の接続箇所(図1の①)はハンチのない箇所を設置し、アーム先端と柱の接続箇所(図1の②)は塑性ヒンジ区間(RC 柱部材の基部付近の損傷が集中する箇所)を避けることを想定している。

装置に生じるガタつきおよび機械的な歪みは、測定精度に大きく影響する可能性がある。そのため、正弦波加振や円加振による予備実験結果をもとに、アーム支点(図1の③)回転部のボールベアリングを2層に設置する、センサーを取りつけた治具(図1の④)の剛性を高める等、装置の改善を行っている。

3. 実験概要

最大応答部材角測定装置に、正弦波および模擬地震波(L1 と L2 地震波)により生じる柱天端の応答部材角を静的に与え、精度確認実験を行った。本実験におけるアーム全長は 1000 mm (実構造物においては 1000~2000 mm 程度を想定している)、センサーまでのアーム長は X 方向を C=230 mm, Y 方向を D=200 mm とした。これらは、鉄道 RC ラーメン高架橋の柱天端の応答部材角、センサーの仕様および測定精度との関係より設定している。

表2に、実験に用いた波形について、想定した鉄道 RC ラーメン高架橋および入力地震波を示す。波形は、まず、線路直角方向の非線形動的解析により得られた柱天端部における各時刻歴での応答部材角を、アーム長先端に与える変位量に逆算し、さらに、線路方向を X 方向、線路直角方向を Y 方向とした両方向に同一変位量を与えることを目的として、振幅を $\sqrt{2}$ 倍し、45°方向から入力するものとした。

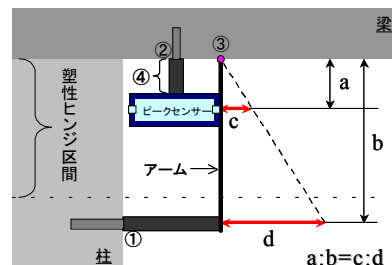


図1 測定装置の概要

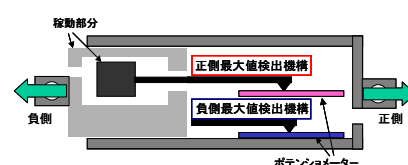


図2 ピークセンサーの概要

表1 ピークセンサーの仕様

項目	値
寸法	127×18×32 mm
重量	155g
検出範囲	±10mm
分解能	2 μm

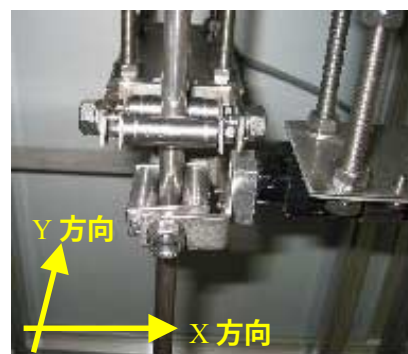


写真1 測定装置

キーワード 最大応答部材角測定装置 ピークセンサー 損傷レベル

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造 TEL03-3355-3442
〒732-0029 広島県広島市東区福田1丁目665-1 (株)計測リサーチコンサルタント TEL082-899-5471

表2 実験ケース

Case	想定した鉄道 RC ラーメン高架橋	入力地震波	測定方向
0-1	—	正弦波	L 方向
0-2			C 方向
1-1	柱高さ 12m(1 層)	L1	L 方向
1-2		G3 地盤	C 方向
2-1	柱高さ 7m(1 層)	L2	L 方向
2-2		G3 地盤	C 方向

※L 方向:線路方向(写真1 X 方向), C 方向:線路直角方向(写真1 Y 方向)

4. 実験結果

図3に Case0-1, 図4に Case1-1 および図5に Case2-2 の実験結果を示す。正弦波および入力した模擬地震波に対し、センサーは正負側ともに経験した最大応答部材角を測定、記憶することがわかる。なお、予めセンサーと治具に構造上発生する検知不能な微小な変位(不感帯)量を計測し(図6), 初期値に不感帯量を加えて実験を行っている。本装置における不感帯量は、XY 方向および正負側ともにアーム先端の変位量に換算して 3.0 mm (0.003(rad)) であった。図4と図5に示すように、鉄道標準³⁾により求めた各ケースの損傷レベルの閾値を事前に設定し、最大応答部材角を測定することにより、RC 柱の損傷レベルの推定が可能であることを確認した。

図7に最大応答部材角の入力値に対する測定値の誤差割合を示す。実験ケースごとの極端な相違は見られなかった。また、応答部材角の値が小さい場合、値にばらつきが見られるものの、応答値が大きくなるにつれて、測定精度が向上する傾向がみられた。変動係数で検討した場合、全データでの変動係数(C_{v1})は 8.8%, 鉄道 RC ラーメン高架橋柱の損傷レベル 1 と 2 の閾値程度である部材角 0.01(rad)以上のデータで集約すると、変動係数(C_{v2})が 6.6%であった。

以上より、本装置は精度よく最大応答部材角を測定し、鉄道 RC ラーメン高架橋柱の損傷レベルの推定が可能であると考えられる。

5. まとめ

鋼板巻き補強を含む RC 高架橋柱の最大応答部材角を測定する装置を開発した。模擬地震波等を与えた精度確認実験の結果、最大応答部材角を概ね誤差 10%, 損傷レベルの 1 と 2 の閾値程度である最大応答部材角 0.01(rad)以上では、概ね誤差 7%で検知出来ることを確認した。今後は、RC 柱の最大応答部材角と損傷レベルの関係を整理し、測定データの伝送方法の検討を行い、地震後早期に鉄道 RC ラーメン高架橋柱の損傷レベルを把握するモニタリングシステムの開発を行う予定である。なお、本研究は国土交通省の補助金を受けて実施している。

参考文献

- 1)財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道標準[耐震設計] 橋梁および高架橋耐震照査の手引き, 研友社, 2006
- 2)下見成明, 松井義昌, 新川秀一, 中泉義政：最大ひずみ記憶センサーを用いた橋梁の診断技術, 「耐震補強・補修技術, 耐震診断技術に関するシンポジウム」講演論文集, Vol.3, pp143-150, 1999
- 3)財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 丸善, 1999

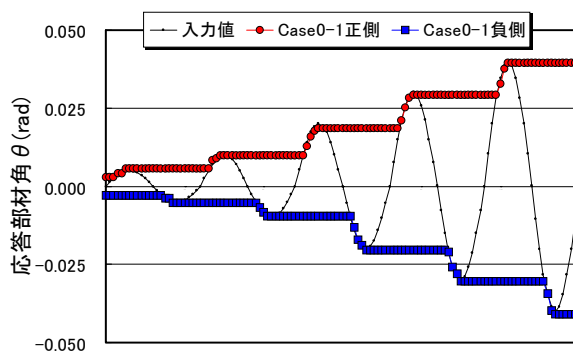


図3 正弦波 (Case0-1)

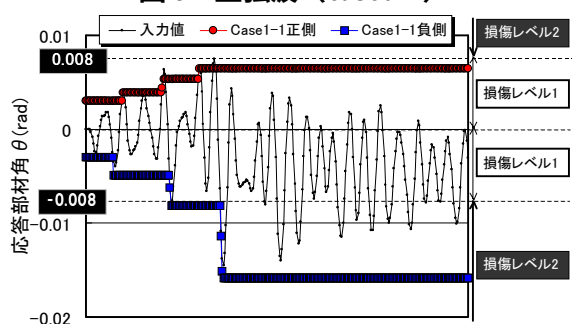


図4 L1地震波 (Case1-1)

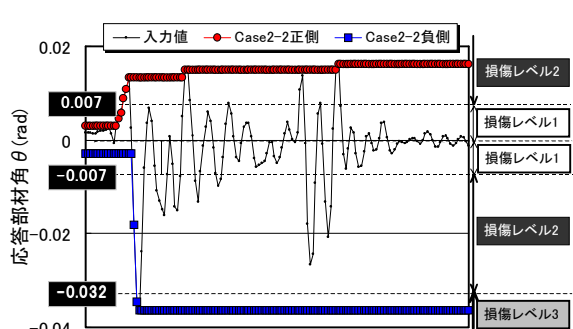


図5 L2地震波 (Case2-2)

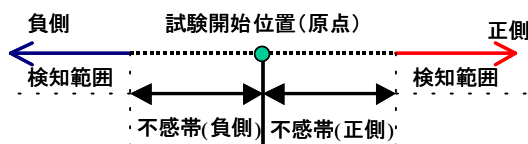


図6 不感帯

図7 最大応答部材角の測定誤差割合

